

Tema 4 : Tipos de Operaciones Unitarias

Los procesos químicos siempre pueden subdividirse en unidades básicas llamadas operaciones unitarias.

Las operaciones unitarias son cada una de las acciones necesarias de transporte, adecuación y/o transformación.

El número de estas operaciones básicas no es muy grande y generalmente sólo unas cuantas de ellas intervienen en un proceso determinado.

4. Tipos de Operaciones Unitarias

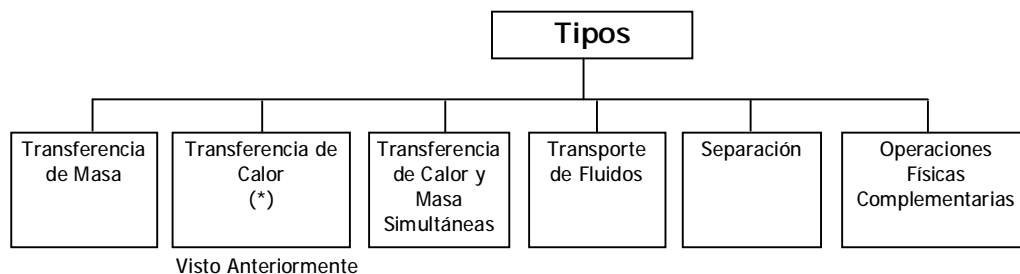
Las operaciones unitarias más comunes se producen en Reactores, intercambiadores de Calor, bombas, mezcladores y separadores, y en cada proceso / operación unitaria se cambian las condiciones de una determinada cantidad de materia de una o más de las siguientes formas:

- Modificando su masa o composición
- Modificando el nivel o calidad de la energía que posee
- Modificando sus condiciones de movimiento

Cada operación unitaria tiene una fuerza impulsora, un gradiente en alguna propiedad, que da cuenta del mecanismo principal de transferencia:

Caso	Mecanismo	Gradiente Impulsor
Transferencia de Masa	Difusión	Concentración
Transferencia de Calor	Conducción, Convección y/o Radiación	Temperatura
Transferencia de Cantidad de Movimiento	Rozamiento	Velocidad

Clasificaremos las operaciones unitarias en las siguientes 6 tipos,



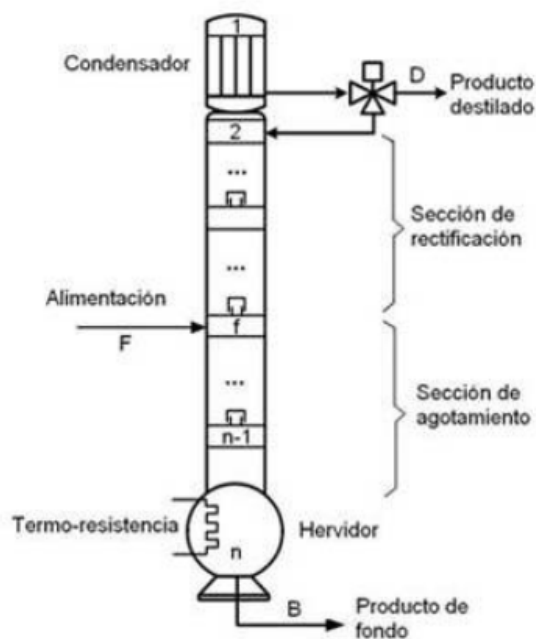
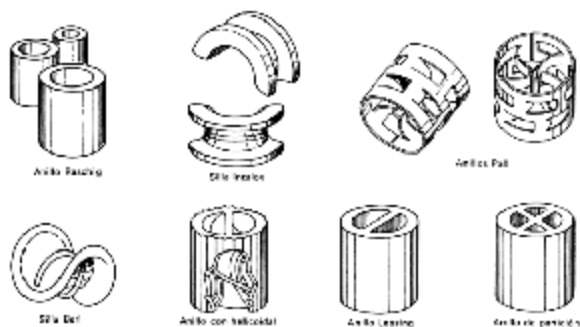
4.1 Transferencia de masa

Los procesos de transferencia de masa son importantes ya que la mayoría de los procesos químicos requieren de la purificación inicial de las materias primas o de la separación final de productos y subproductos.

Consideraremos los siguientes 5 procesos:

4.1.1 Destilación

Corresponde a la separación de una mezcla líquida basada en la diferencia de volatilidad. La operación puede ser principalmente simple, súbita o extractiva. Se utilizan columnas de relleno (packing towers) y su campo de aplicación es en petróleo, solventes, licores, etc.

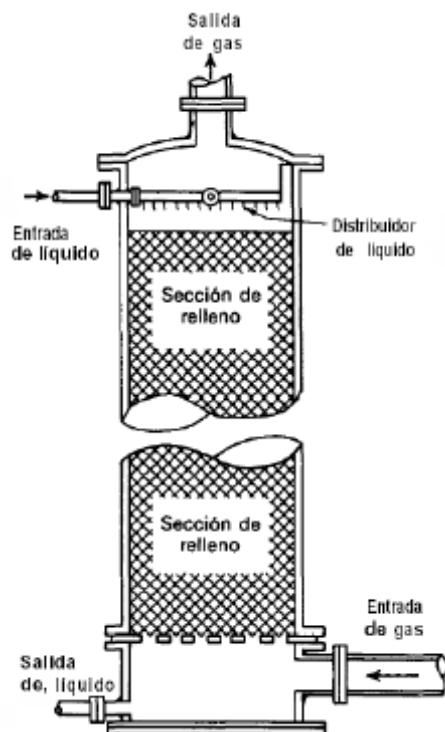


4.1.2 Absorción

La absorción es una operación de separación que consiste en la transferencia de uno o más componentes minoritarios de una corriente gaseosa a una corriente líquida, llamada disolvente. El objetivo de esta operación suele ser purificar una corriente gaseosa para su procesamiento posterior o su emisión a la atmósfera, o bien, recuperar un componente valioso presente en la corriente gaseosa.

La absorción del SO_2 presente en los gases de combustión mediante soluciones alcalinas y la absorción de CO y CO_2 del gas de síntesis de amoníaco son ejemplos de purificación, mientras que la absorción de óxidos de nitrógeno en agua es la etapa final del proceso de fabricación de ácido nítrico.

La absorción se suele llevar a cabo en torres o columnas de relleno.



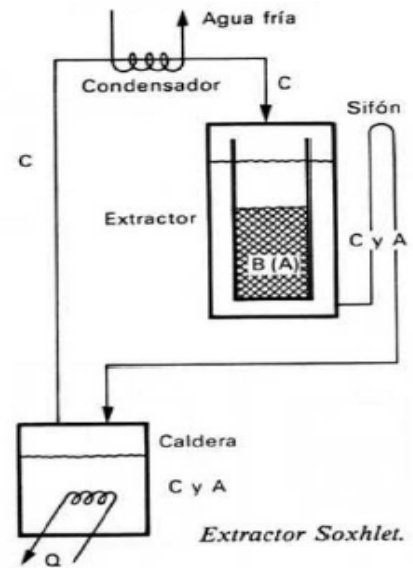
4.1.3 Extracción (lixiviación o lavado)

Es la extracción sólido líquido, operación para separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente.

El proceso completo de extracción suele comprender la recuperación por separado del solvente y del soluto.

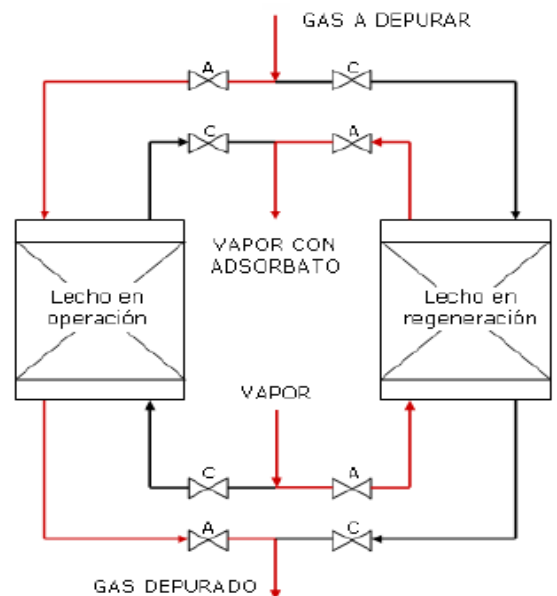
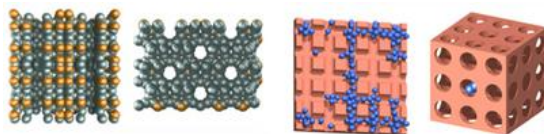
La extracción sólido-líquido tiene gran importancia en un gran número de procesos industriales. En metalurgia en la extracción de: cobre con ácido sulfúrico, oro con cianuro, etc.

Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Por ejemplo el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.



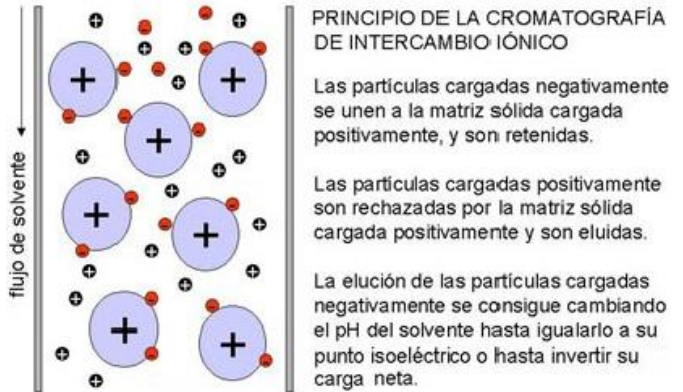
4.1.4 Adsorción

Separación de los componentes de un fluido mediante un sólido adsorbente. Se diferencia de la absorción en que la sustancia queda retenida en la interface, sin pasar al seno de la otra fase. Se distingue de la cristalización porque el componente que se transfiere a través del fluido no tiene la misma naturaleza que la fase sólida, sino que se fija sobre ella. La operación puede ser a través de lecho fijo, alumina, sílica gel, etc. Se utilizan generalmente columnas de lecho fijo en paralelo para secar gases, eliminar olores y solventes.



4.1.5 Intercambio Iónico

El intercambio iónico es un proceso por medio del cual un sólido insoluble remueve iones de cargas positivas o negativas de una solución electrolítica y transfiere otros iones de carga similar a la solución en una cantidad equivalente. Este proceso ocurre sin que existan cambios estructurales en el sólido. Si los sólidos intercambian iones positivos (cationes) se denominan intercambiadores catiónicos e intercambiadores aniónicos si intercambian iones negativos (aniones). Por ejemplo, la dureza del agua se puede eliminar reemplazando los iones calcio (Ca^{++}) por iones sodio (Na^+) utilizando una resina cambiadora de cationes (zeolita).



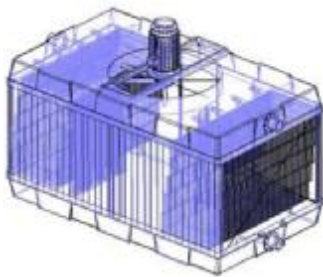
4.2 Transferencia Simultánea de Calor y Masa

La transferencia de calor y de masa es una ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica. Tiene una amplia área de aplicación que va desde los sistemas biológicos hasta los aparatos domésticos comunes, pasando por los edificios residenciales y comerciales, los procesos industriales, los aparatos electrónicos y el procesamiento de alimentos.

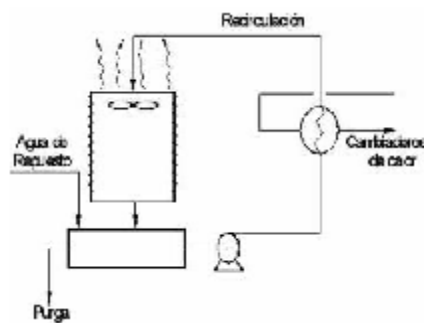
4.2.1 Acondicionamiento de Gases o Enfriamiento de Líquidos

Corresponde a la modificación de la humedad y/o temperatura del aire que los fluidos, tales como el agua y aire.

La operación principalmente pone en corrientes en contacto al aire con agua, o con gas no saturado, pudiendo ser a través de torres de enfriamiento, como por ejemplo en una central térmica.



Enfriamiento de Aire



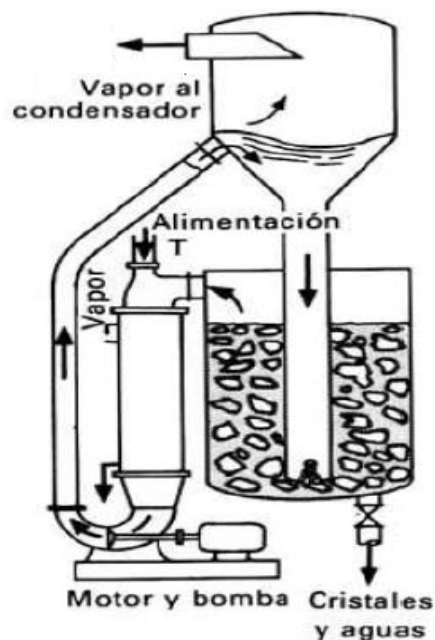
Enfriamiento de líquidos



4.2.2 Cristalización

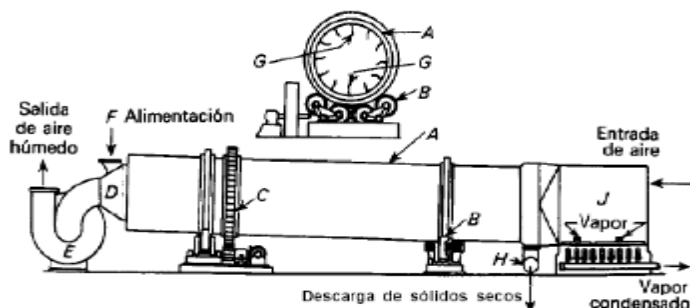
La cristalización es una operación de transferencia de materia en la que se produce la formación de un sólido (cristal o precipitado) a partir de una fase homogénea (soluto en disolución o en un fundido).

Destaca sobre otros procesos de separación por su potencial para combinar purificación y producción de partículas en un solo proceso. Comparado con otras operaciones de separación la cristalización en disolución presenta varias ventajas, como por ejemplo: El factor de separación es elevado (producto casi sin impurezas). En bastantes ocasiones se puede recuperar un producto con una pureza mayor del 99% en una única etapa de cristalización, separación y lavado. Si se controlan las condiciones del proceso se obtiene un producto sólido constituido por partículas discretas de tamaño y forma adecuados. Y requiere de menos energía para la separación que la destilación u otros métodos empleados.



4.2.3 Secado

Operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad que contiene el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado termina.



El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

4.2.4 Liofilización Criodeshidratación

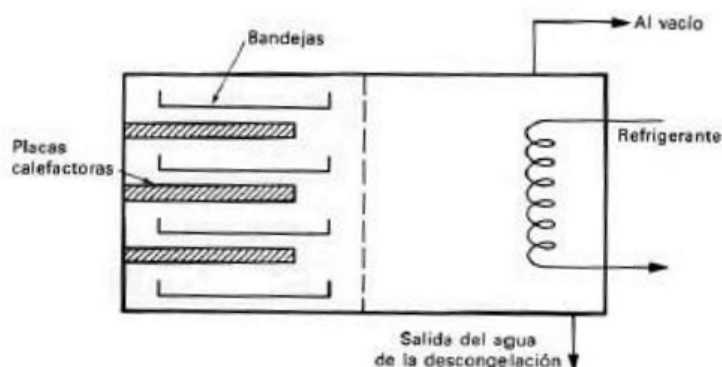
Método de conservación de alimentos en el que confluyen distintos procesos. El resultado es un producto seco, pero con todas las características organolépticas de su estado original (aroma, el gusto o el sabor).

Este proceso facilita su conservación y ayuda a detener el crecimiento de patógenos, puesto que el resultado es un alimento de menos peso.

En la industria alimentaria, la liofilización consiste en eliminar el agua de un alimento a partir de la congelación, en lugar de aplicar calor. Esto explica que se reserve para los productos con sustancias sensibles a las altas temperaturas, como las proteínas o las enzimas. Una vez liofilizados, el tiempo de conservación sin refrigeración aumenta porque la reducción del contenido de agua inhibe la acción de los microorganismos que podrían deteriorar los alimentos.

En definitiva, la liofilización es similar a la deshidratación: el objetivo es el mismo, disminuir el contenido en agua. La principal diferencia está en el proceso; si bien en el primero se reduce casi la totalidad del agua, en la deshidratación, esta disminución es menor, aunque no por ello menos importante. Este sistema ya se usaba en la antigüedad, cuando para deshidratar los alimentos se dejaban secar al sol, en un ambiente seco, hasta que eliminaran toda la humedad.

La criodeshidratación, en cambio, aligera el peso del alimento, con una disminución de un 20% respecto al original y permite la separación de las distintas sustancias de un alimento. Primero se congela el producto a muy bajas temperaturas de forma rápida para evitar que se formen grandes cristales de hielo; se somete a un proceso de vacío para que el agua se evapore sin pasar a estado líquido (sublimación); se aplica calor al producto congelado y se condensa para convertirlo de nuevo en sólido.



4.3 Circulación de Fluidos

En la industria, se ha de tratar con problemas prácticos de transporte de fluidos desde un lugar a otro y de la medida de sus velocidades de flujo.

Si bien los fluidos (líquidos y gases) pueden transportarse en recipientes por cualquier medio convencional, se entiende por transporte, en ingeniería, el movimiento continuo y forzado de líquidos o gases a través de conducciones fijas que forman un circuito de fluidos, el cual consta de elementos funcionales (bombas o compresores, válvulas, accesorios, etc.), cuyo número y especie dependen de la función a que se destine el circuito, y que están conectados entre sí mediante conducciones a través de las que se establece el transporte del fluido de alimentación del circuito de unos elementos a otros. Hay gran variedad de circuitos de fluidos en ingeniería, con concepciones, configuraciones y aplicaciones muy diversas.

4.3.1 Conducciones

Corresponde a unidades para el transporte de los fluidos desde y hasta las operaciones del proceso, pudiendo ser a través de canales abiertos, secciones circulares (tuberías), secciones cuadradas, etc.

La tubería es un conducto compuesto de tubos que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Dependiendo del líquido que transporta adquiere distintos nombres, cuando transporta petróleo se denomina oleoducto, para gas gasoducto, etc.






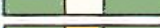




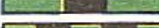


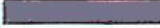
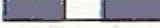


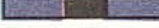

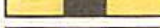






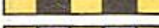










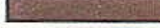
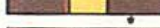








A. Fabricación (3 métodos)

Existen tres métodos, el Sin costura, donde la tubería se forma a partir de un lingote cilíndrico (proceso de extrusión), el cuál es calentado en un horno y posteriormente se hace el agujero mediante un perforador. La tubería sin costura es la mejor para la contención de la presión gracias a su homogeneidad en todas sus direcciones, siendo la forma más común de fabricación y por tanto la más comercial. La con costura longitudinal. Se parte de una lámina de chapa la cual se dobla dándole la forma a la tubería. La soldadura que une los extremos de la chapa doblada cierra el cilindro, por lo que es una soldadura recta que sigue toda una generatriz. Variando la separación entre los rodillos se obtienen diferentes curvas y con ello diferentes diámetros de tubería. Esta soldadura es la parte más débil y marcará la tensión máxima admisible. Y por último la Con soldadura helicoidal (o en espiral), su metodología es la misma que la anterior con la diferencia de que la soldadura no es recta sino que recorre la tubería siguiendo la tubería como si fuese roscada.

B. Velocidades de Tuberías

FLUIDO	MÁQUINA	CONDUCTO	VELOCIDAD [m/s]	NOTAS
AGUA	Bombas volum. de émbolos	Succión	0.5 a 1.0	
		Expulsión	1.0 a 2.0	
	Bombas rotodinámicas	Succión	0.5 a 2.5	
		Expulsión	1.5 a 3.0	Baja presión
	Turbinas Hidráulicas	Succión y expulsión	3.0 a 4.5	Alta presión
AIRE	Compresor de émbolos	Succión y expulsión	2.5 a 3.5	Tubería larga
		Succión y expulsión	4.0 a 6.0	Tubería corta
	Turbocompresor	Succión	16.0 a 20.0	
		Expulsión	25.0 a 30.0	
	Mots. pequeños Comb. interna	Succión y expulsión	20.0 a 25.0	
Mots. grandes Comb. Int.	Cond. de alimentación	10.0 a 15.0	Conducto largo	
	Cond. de alimentación	15.0 a 20.0	Conducto largo	
Motores de combustión	Cond. de alimentación	20.0	Conducto corto	
VAPOR DE AGUA	Máquinas de émbolo	Conductos otros	15.0 a 20.0	
		Cond. de alimentación	25.0 a 30.0	Vapor saturado
	Turbinas de vapor	Cond. de alimentación	40.0 a 55.0	Vapor recalentado
		Cond. Alim. pequeño	30.0 a 50.0	Vapor recalentado
	Máquinas de émbolo	Cond. Alim. grande	50.0 a 80.0	Vapor recalentado
Cond. de expulsión		25.0 a 30.0	Salida libre	
PRODUCTOS DE COMBUSTION	Máquinas de émbolo	Cond. de expulsión	40.0 a 90.0	Al condensador
		Motores grandes de baja velocidad	20.0 a 25.0	4 tiempos
	Motores grandes de baja velocidad	10.0 a 15.0	2 tiempos	
	Motores grandes de alta velocidad	35.0 a 40.0	4 tiempos	
	Motores grandes de alta velocidad	25.0 a 30.0	2 tiempos	
GAS	Mots. comb.: conductos de alimentación	30.0 a 40.0	4 tiempos	
	Mots. comb.: conductos de alimentación	29.0 a 32.0	2 tiempos	
	Gasoductos de baja presión	7.0 a 10.0		
	Gasoductos de alta presión	12.0 a 8.0		
ACEITE	Tuberías de succión – sistemas de lubric.	0.5 a 1.2		

C. Colores usuales (DIN 24-03)

Caracterización de tuberías	Color y utilización	Colores característicos
 Vapor saturado  Vapor calentado	 Vapor	 Vapor residual
 Agua potable  Agua caliente  Agua de condensación  Agua a presión	 Agua	 Salmuera  Agua utilizable  Agua residual  Agua para rociado
 Aire de soplante  Aire caliente	 Aire	 Aire comprimido  Polvo de carbón
 Gas de tragante (horno alto y otros de fusión)purif.  Gas de tragante bruto  Gas de generador  Gas ciudad o de coquería  Gas de agua  Gas de petróleo	 Gas	 Acetileno  Dióxido de carbono  Oxígeno  Hidrógeno  Nitrógeno  Amoniaco
 Acido	 Acido	 Acido concentrado
 Lejías	 Lejía	 Lejía concentrada
 Aceite  Gas-oil  Aceite de alquitrán	 Aceite	 Gasolina  Benzol
	 Alquitrán	 Alquitrán
	 Vacío	 Vacío

4.3.2 Bombas

Un equipo de bombeo es un transformador de energía, mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. Y la convierte en energía, que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad.

Así se tendrán bombas que funcionen para cambiar la posición de un cierto fluido. Por ejemplo la bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo se eleve a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión sería una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales, en tanto que la presión fuesen iguales, en tanto que la presión fuese incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción.

Existen bombas que trabajan con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo a este respecto hay muchas confusiones en los términos presión y velocidad por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza-tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por la bomba es una mezcla de las tres. Las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos.

Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido en sus diferentes componentes citadas en energía mecánica.

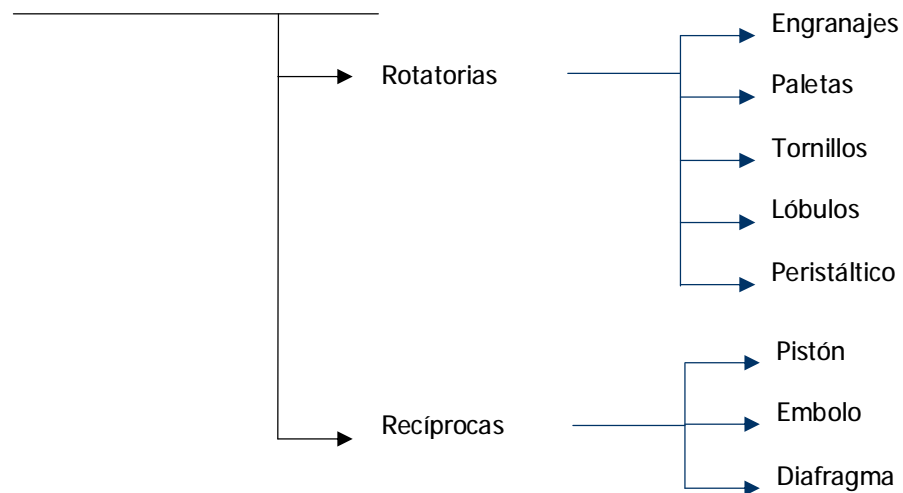
Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Normalmente una bomba es accionada por un motor eléctrico, térmico, etc. mientras que una turbina acciona un generador eléctrico.

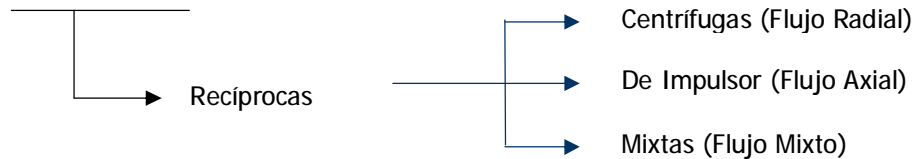
Tratándose de fluidos compresibles el generador suele llamarse compresor y el motor puede ser una turbina de aire, gas o simplemente un motor térmico.

- Clasificación de las Bombas

Desplazamiento Positivo



Cinéticas



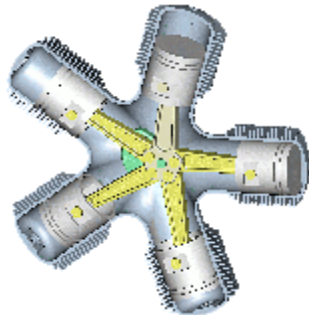
E. De Lóbulos



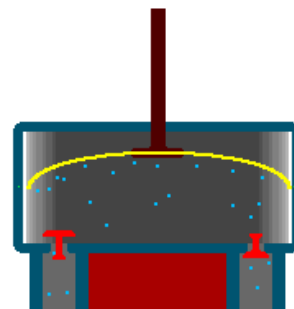
Bombas Recíprocas

Existen básicamente de dos tipos: de acción directa, movidas por vapor y las bombas de potencia. Existen muchas modificaciones de los diseños básicos, construidas para servicios específicos en diferentes campos algunas se clasifican como bombas rotatorias por los fabricantes, aunque en realidad utilizan el movimiento recíprocamente de pistones o émbolos para asegurar la acción de bombeo.

A. De Pistón



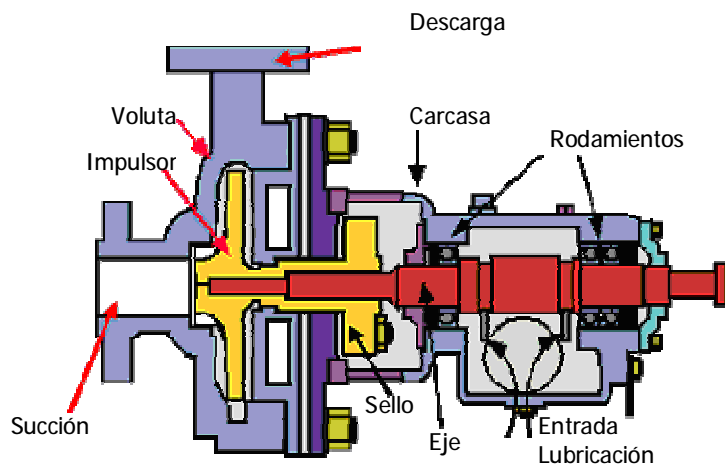
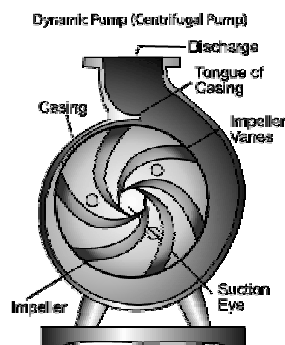
B. De Diafragma



Bombas Cinéticas

En este tipo de bombas la energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo que imprime al líquido el mismo movimiento de rotación, transformándose luego, parte en energía y parte en presión. El caudal a una determinada velocidad de rotación depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga.

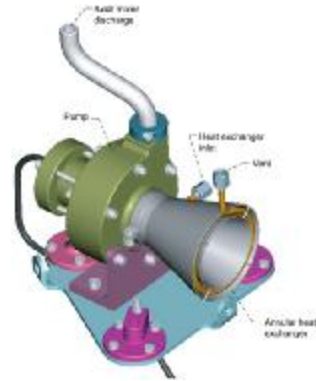
A. Centrifugas



B. De Impulsión



C. Mixtas

Bombas Centrífugas

Las bombas centrífugas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido.

En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.

En el caso de flujos bajos y altas presiones, la acción del rotor es en gran medida radial. En flujos más elevados y presiones de salida menores, la dirección de flujo en el interior de la bomba es más paralela al eje del rotor (flujo axial). En ese caso, el rotor actúa como una hélice. La transición de un tipo de condiciones a otro es gradual, y cuando las condiciones son intermedias se habla de flujo mixto.

4.3.3 Compresores

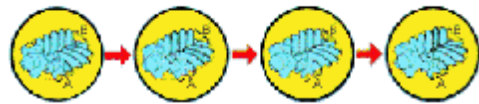
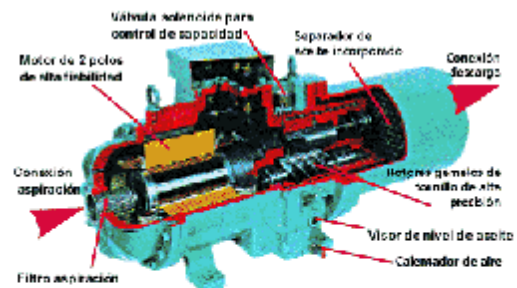
El compresor de aire, también llamado bomba de aire, es una máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos. El aire comprimido posee una gran energía potencial, ya que si eliminamos la presión exterior, se expandiría rápidamente. El control de esta fuerza expansiva proporciona la fuerza motriz de muchas máquinas y herramientas.

En general hay dos tipos de compresores: alternativos y rotatorios:

Los compresores alternativos o de desplazamiento, se utilizan para generar presiones altas mediante un cilindro y un pistón. Cuando el pistón se mueve hacia la derecha, el aire entra al cilindro por la válvula de admisión; cuando se mueve hacia la izquierda, el aire se comprime y pasa a un depósito por un conducto muy fino.



Compresor Alternativo (Pistón)



A: Aspiración B: Descarga

Compresor Rotativo (Tomillos)

Los rotativos, producen presiones medias y bajas. Están compuestos por una rueda con palas que gira en el interior de un recinto circular cerrado. El aire se introduce por el centro de la rueda y es acelerado por la fuerza centrífuga que produce el giro de las palas. La energía del aire en movimiento se transforma en un aumento de presión en el difusor y el aire comprimido pasa al depósito por un conducto fino.

El aire, al comprimirlo, también se calienta. Las moléculas de aire chocan con más frecuencia unas con otras si están más apretadas, y la energía producida por estas colisiones se manifiesta en forma de calor. Para evitar este calentamiento hay que enfriar el aire con agua o aire frío antes de llevarlo al depósito. La producción de aire comprimido a alta presión sigue varias etapas de compresión; en cada cilindro se va comprimiendo más el aire y se enfría entre etapa y etapa

4.3.4 Válvulas

En la regulación de los distintos procesos de una planta industrial tendrán un papel fundamental las válvulas. Con ellas podremos controlar los caudales de las distintas corrientes implicadas en el proceso, además de las condiciones internas de presión de depósitos y recipientes.

Una válvula consistirá básicamente en un cuerpo principal dentro del cual van alojados el obturador y los asientos, elementos que definirán el paso de fluido permitido en cada momento. El obturador consiste en un mecanismo móvil que varía su posición con respecto al asiento, siendo el caudal de paso directamente proporcional a la superficie libre existente entre el embolo y el asiento. Por su diseño deberá acoplar perfectamente sobre el asiento para proporcionar un cierre hermético cuando la válvula esté cerrada. El movimiento del obturador estará comandado por un vástago al que es solidario, siendo este el elemento donde físicamente se actúa para controlar la posición del obturador. Su movimiento podrá ser lineal o rotativo dependiendo del diseño de la válvula.

Cabe decir que el cuerpo de la válvula debe estar realizado en un material resistente, capaz de resistir la presión máxima posible en la línea a la vez que garantiza la hermeticidad del dispositivo. El cuerpo de la válvula deberá estar dotado de algún elemento, tal como bridas o rosca, para su conexión a la línea.

La conexión de la válvula a la línea dependerá de las características de estas últimas. En conducciones de menos de dos pulgadas y en todas aquellas destinadas a transporte de sulfhídrico se optarán por el acople de las válvulas mediante soldadura. En líneas mayores a dos pulgadas se recurre a la unión embrizada.

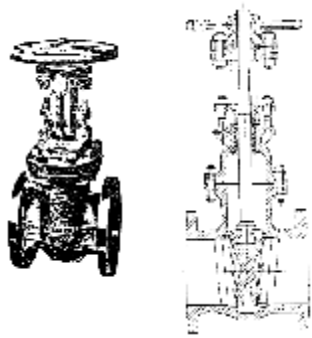
De acuerdo con el diseño del cuerpo de la válvula y el movimiento del obturador podremos clasificar los diferentes tipos de válvulas. En el diagrama de la siguiente página presentamos los diferentes tipos de válvulas que surgen de esta clasificación.

Una clasificación quizás más importante es aquella que caracteriza las válvulas según la función que van a desempeñar en el sistema. Según la cual tendremos los siguientes tipos de válvulas:

A. Válvulas de regulación

Esta clase de válvulas se utilizará para realizar el control de caudal, presión, etc. de las distintas corrientes de proceso.

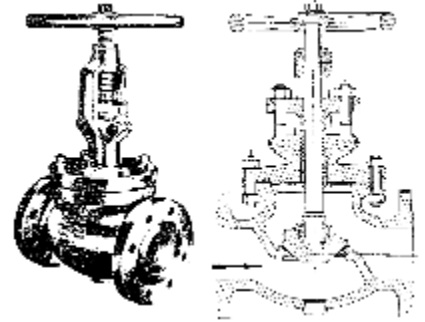
Los principales elementos que componen una válvula de regulación, y su disposición en la misma son los que aparecen en el esquema siguiente.



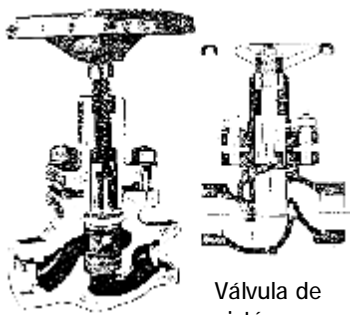
Válvula de compuerta



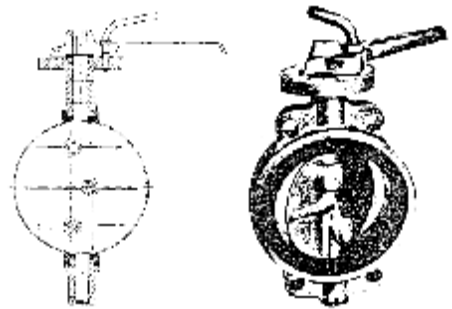
Válvula reductora de presión



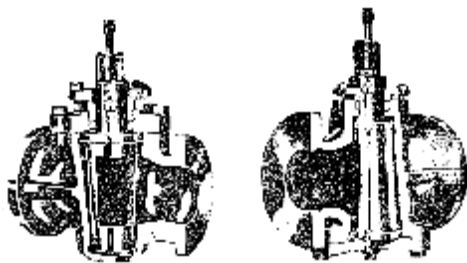
Válvula de globo



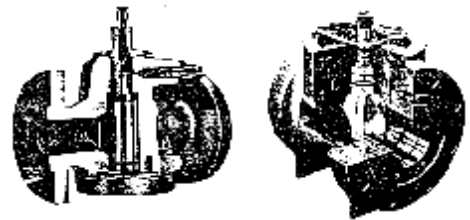
Válvula de pistón



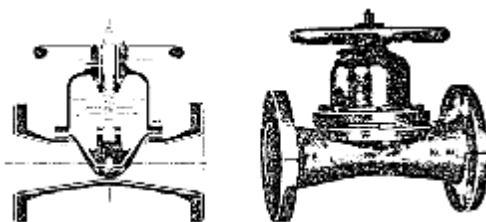
Válvula de mariposa



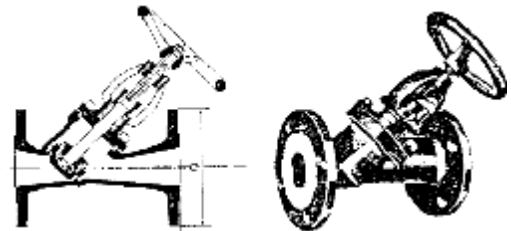
Válvula de obturador cónico



Válvula de obturador cilíndrico y esférico



Válvula de membrana

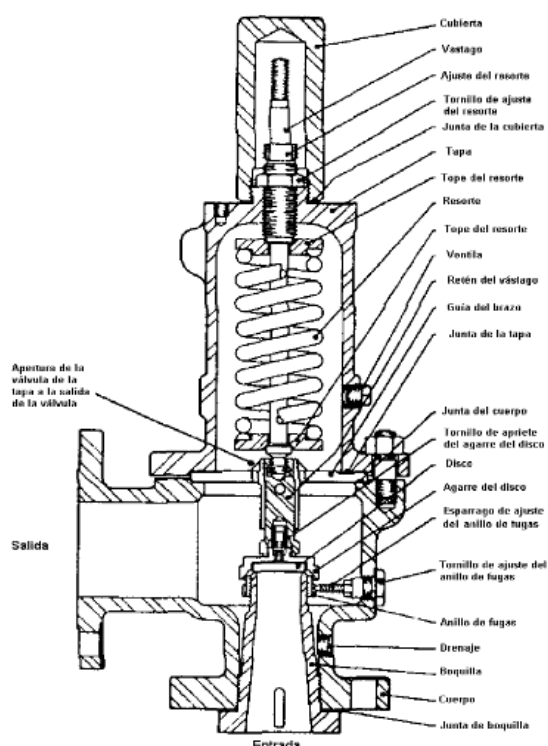


Válvula de obturador inclinado

B. Válvulas de seguridad

Este tipo de válvulas se utilizará para el control de la presión en equipos o líneas, evitando daños tanto a personas como a equipos a consecuencia de una excesiva presión, o por el contrario, por vacío. Las válvulas automáticas también serán de aplicación en sistema en los que se requiere un corte inmediato de la corriente de fluido ante fallas del equipo.

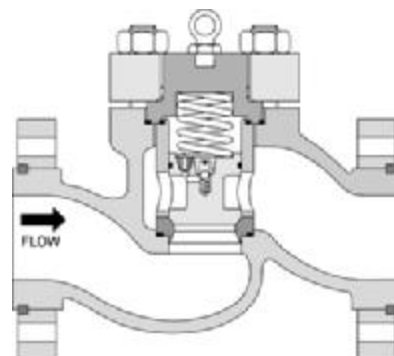
El accionamiento de este tipo de válvulas es de tipo automático y autónomo no necesitando ninguna señal externa para entrar en funcionamiento. Su diseño se basa en mecanismos sencillos y fiables, tales como la presión de un muelle, para el movimiento del vástago huyendo de sistemas más complicados más propensas a fallas.



C. Válvulas de retención.

Este tipo de válvulas se utiliza para asegurar el sentido de flujo dentro de una línea, evitando que se produzca un retorno de fluido provocado por el balance de presiones en la conducción.

Estas válvulas son de accionamiento autónomo siendo la misma corriente de fluido la que provoca su apertura y cierre. La masa de fluido al incidir sobre el obturador ejerce una fuerza sobre el mismo que provoca su desplazamiento. Si la corriente se produce en el sentido de diseño el obturador tiene libertad de movimiento, desplazándose permitiendo así la libre circulación de fluido. Sin embargo, si se establece la circulación en sentido contrario al permitido la propia fuerza de la corriente actúa sobre el obturador provocando el cierre de la línea.



4.4 Transporte de Cantidad de Movimiento

4.4.1 Fluidización y transporte neumático

En un lecho fluidizado participan dos fases: un sólido y un fluido (gas o líquido).

Si un fluido fluye a través de una capa de material sólido granulado en reposo a una velocidad suficiente (velocidad de fluidización), las partículas sólidas individuales que forman la capa quedan suspendidas.

Este fenómeno se denomina fluidización. El lecho fluidizado que así se origina se comporta de forma similar a un líquido en términos de flujo y termodinámico.

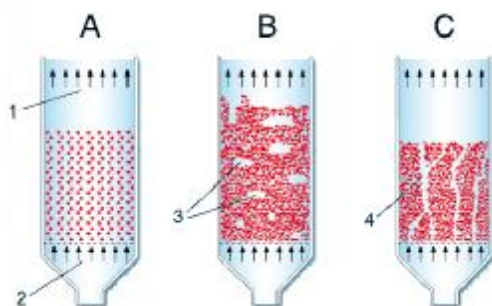
Si la velocidad es excesiva, las partículas son extraídas del lecho fluidizado. Comienza el transporte hidráulico o neumático.

Las grandes superficies de contacto existentes entre el sólido y el fluido favorecen los procesos de transporte de calor y materia entre las partículas y el fluido, así como entre las partículas entre sí.

Un campo de aplicación es la combustión en lecho fluidizado.

En este caso, la combustión tiene lugar en un lecho fluidizado formado por combustible triturado, con aplicación de aire caliente. El principio del lecho fluidizado permite trabajar con temperaturas de combustión más bajas.

Gracias a esto se pueden mantener las emisiones de óxidos de nitrógeno en un nivel de concentración muy bajo.



Fenómenos en los lechos fluidizados:

- A lecho fluidizado homogéneo
- B lecho fluidizado con formación de burbujas
- C formación de canales

En los lechos fluidizados se pueden presentar los siguientes fenómenos:

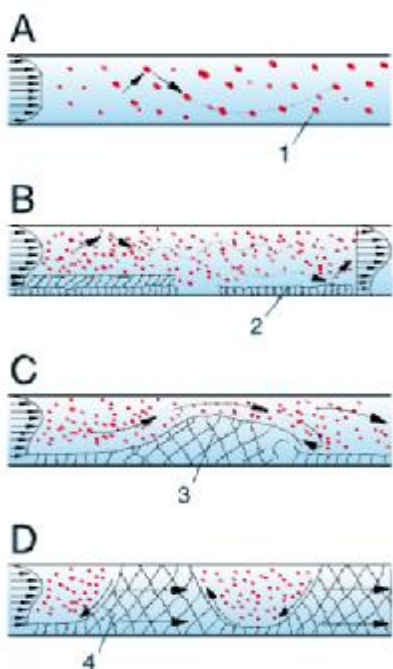
Lecho fluidizado homogéneo. Al aumentar la velocidad de flujo del fluido se produce un aumento uniforme de volumen del lecho fluidizado. Las partículas sólidas están distribuidas homogéneamente en todo el lecho. En la práctica, este comportamiento sólo se puede observar en líquidos utilizando partículas de igual tamaño.

Lecho fluidizado no homogéneo. Se producen procesos de clasificación o segregación de partículas en el lecho fluidizado. Las partículas de mayor densidad se acumulan en la zona inferior. Si se emplea un gas como fluido, casi siempre se forman burbujas en el lecho fluidizado. Estas burbujas están exentas de sustancias sólidas. Las burbujas pequeñas se unen en su camino hacia la superficie, formando burbujas más grandes que revientan en la superficie. La superficie del lecho fluidizado tiene el aspecto de un líquido en ebullición.

Formación de canales. Si el sólido es un material de grano fino y las partículas se adhieren entre sí, es posible que no se forme un lecho fluidizado. Se forman canales de flujo preferente. En las zonas contiguas a los canales no existe flujo. En el caso de tales sustancias sólidas sólo puede formarse un lecho fluidizado agitando adicionalmente.

Con las instalaciones de transporte neumático se transportan materiales a granel, en polvo o en grano, por tuberías con ayuda de una corriente de gas (generalmente aire). Estos materiales a granel pueden ser, por ejemplo, productos alimentarios tales como harina o leguminosas.

Las instalaciones de transporte neumático constan esencialmente de un compresor de aire, una tubería de transporte y un separador de polvo (p. ej. ciclón de gases). El transporte puede tener lugar en dirección horizontal, vertical e inclinada.



Modos de transporte con perfiles de velocidad en tuberías horizontales:

- | | |
|---|----------------------|
| A | transporte volante |
| B | transporte en madeja |
| C | transporte en dunas |
| D | transporte en tapón |
-
- | | |
|---|--|
| 1 | Partículas sólidas |
| 2 | Madeja |
| 3 | Formación de conglomerado a partir de una duna |
| 4 | Tapón conmovedor |

Dependiendo de la velocidad y del contenido de sólidos de la corriente de aire, en las tuberías *horizontales* se pueden presentar diferentes modos de transporte:

Transporte volante (transporte en fase diluida) A velocidades elevadas, las partículas sólidas se mueven distribuidas uniformemente en toda la sección de la tubería. Las partículas chocan entre sí o contra la pared del tubo.

Transporte en madeja Si se reduce la velocidad manteniendo constante el contenido de sólidos, la energía de la corriente deja de ser suficiente para mantener en suspensión toda la materia sólida. Una parte de las partículas sólidas se desliza por el fondo de la tubería en forma de madeja. La otra parte es transportada en forma volante por encima de la madeja.

Transporte en dunas (transporte en fase densa) Si se reduce aún más la velocidad, las partículas sólidas se mueven como una duna. Las partículas se desplazan por encima de la cumbre de la duna y se depositan en el lado protegido de la misma. En caso de una mayor disminución de la velocidad, pueden formarse a partir de las dunas conglomerados que ocupan una gran parte de la sección de la tubería.

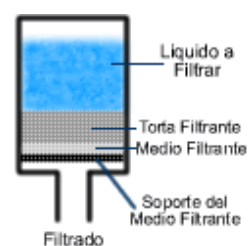
Transporte en tapón (transporte en fase densa) A velocidades muy bajas, los conglomerados ocupan toda la sección de la tubería y se forman los llamados tapones. Los conglomerados y los tapones avanzan muy lentamente. Si el compresor no tiene suficientes reservas de presión, el transporte de dunas, conglomerados y tapones puede causar rápidamente la obstrucción de la tubería.

En las tuberías *verticales* se presentan, en principio, los mismos modos de transporte. Sin embargo, la fuerza de la gravedad tiene en este caso una mayor influencia.

4.4.2 Filtración

En general, los poros del medio tendrán una forma tortuosa y serán mayores que las partículas que deben separarse, operando el filtro de forma eficaz únicamente después de que un depósito inicial haya sido retenido en el medio. En el laboratorio químico, la filtración se lleva a cabo a menudo por medio de un embudo Buchner, siendo el líquido succionado a través de la fina capa de partículas mediante una fuente de vacío; en casos aún más sencillos, la suspensión es vertida en un embudo cónico provisto de un papel de filtro. En la versión industrial de esta operación, nos encontramos con las dificultades inherentes al movimiento mecánico de cantidades mucho mayores de suspensión y sólidos. Debemos permitir la formación de una capa más gruesa de sólidos y, para conseguir una elevada velocidad de paso del líquido a través de los sólidos, se requerirán presiones más elevadas. En otro caso, será necesario proporcionar un área mucho mayor.

En la figura se ilustra una operación típica de filtración, mostrándose el medio filtrante, en este caso una tela, su soporte y la capa de sólidos, o torta filtrante, que se ha formado ya.



Los volúmenes de las suspensiones a tratar variarán desde las cantidades extremadamente grandes que aparecen en la depuración del agua y en el tratamiento de minerales en la industria minera, hasta cantidades relativamente pequeñas en la industria química, en la que la variedad de sólidos será considerable. En la mayor parte de casos de la industria química lo que interesa son los sólidos, siendo sus propiedades físicas y tamaño de gran importancia.

Los principales factores a considerar al seleccionar el equipo y las condiciones de operación son:

- Las propiedades del fluido, especialmente su viscosidad, densidad y propiedades corrosivas.
- La naturaleza del sólido: tamaño y forma de partícula, distribución de tamaños, y características de relleno.
- La concentración de sólidos en suspensión.
- La cantidad de material a tratar y su valor.
 - Si el producto valioso es el sólido, el fluido o ambos.
 - Si es necesario lavar los sólidos filtrados.
 - Si una contaminación muy ligera provocada por el contacto de la suspensión o el filtrado con los diversos componentes del equipo es perjudicial para el producto.
 - Si la suspensión de alimentación puede calentarse.
 - Si puede ser interesante efectuar algún tratamiento previo

Los factores de los cuales depende la velocidad de filtrado:

- La caída de presión desde la alimentación hasta el lado más lejano del medio filtrante.
- El área de la superficie filtrante.
- La viscosidad del filtrado.
- La resistencia de la torta filtrante.
- La resistencia del medio filtrante y de las capas iniciales de torta.
- Las partículas muy finas, forman una torta de filtración muy compacta que dificulta la filtración.
- Las partículas gruesas y cristalinas, en cambio, forman una torta porosa y se dejan filtrar con facilidad.
- Las partículas cristalinas redondas o esquinadas se filtran bien. Por el contrario, las partículas laminares se depositan una sobre otra dificultando el paso del líquido a filtrar.

Las partículas mucilaginosas y pegajosas obstruyen los poros del material de filtración. La torta de filtración puede llegar a hacerse impenetrable.

La velocidad de filtración v_f se indica en metros cúbicos de filtrado (V), por metro cuadrado de superficie filtrante (A) y el tiempo (t) expresado en horas

$$V_f = \frac{V}{At} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{horas}}$$

Para aumentar la velocidad de filtración se puede utilizar:

- Temperatura

Al elevar la temperatura disminuye la viscosidad del líquido que se filtra y con ello en muchos casos se consigue una mejor velocidad de filtración.

- Presión.

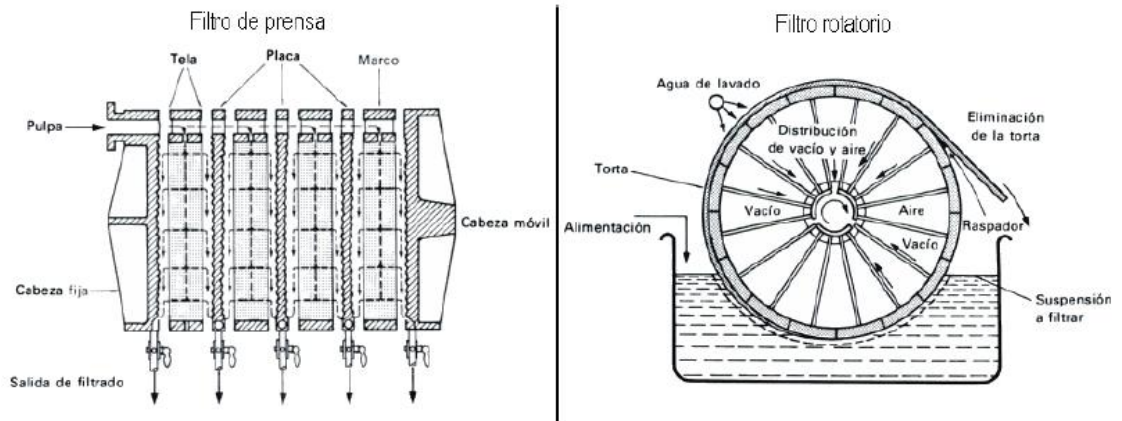
Por aumento de la presión también se puede incrementar la velocidad a la que el filtrado atraviesa la torta de filtración. La caída de presión necesaria se puede alcanzar ya sea antes del filtro por la altura de la columna del líquido mismo o por presión adicional, o bien del lado del filtrado por disminución de la presión (vacío).

- Agentes auxiliares de filtración (en la decantación).

El agregado de agentes auxiliares de filtración que no reaccionen con la suspensión evita la formación de una torta de filtración con una estructura menos compacta.

Como agentes auxiliares de filtración se usan, entre otros: Tierras de infusorios, asbesto, cuarzo, celulosa, etc.

- Disminución del espesor de la torta de filtración.
- Variación del pH.



4.4.3 Sedimentación

Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado.

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, se pueden producir cuatro tipos de sedimentación: discreta, floculenta, retardada (zonal), y por compresión.

Sedimentación de partículas discretas (Tipo 1)

La ley de Newton proporciona la velocidad final de una partícula como resultado de igualar el peso efectivo de la partícula a la resistencia por rozamiento o fuerza de arrastre. El peso efectivo viene dado por:

$$\text{Fuerza gravitatoria} = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot V$$

donde

ρ_s = densidad de la partícula.

ρ = densidad del fluido.

g = aceleración de la gravedad.

V = volumen de la partícula.

La fuerza de arrastre por unidad de área depende de la velocidad de la partícula, de la densidad y la viscosidad del fluido, y del diámetro de la partícula.

$$\text{Fuerza arrastre} = C_A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot A \cdot V^2$$

donde $C_A = 2\pi / (\pi + 4)$

C_A = coeficiente de arrastre.

A = área transversal al flujo.

g = aceleración de la gravedad.

V = velocidad de la partícula.

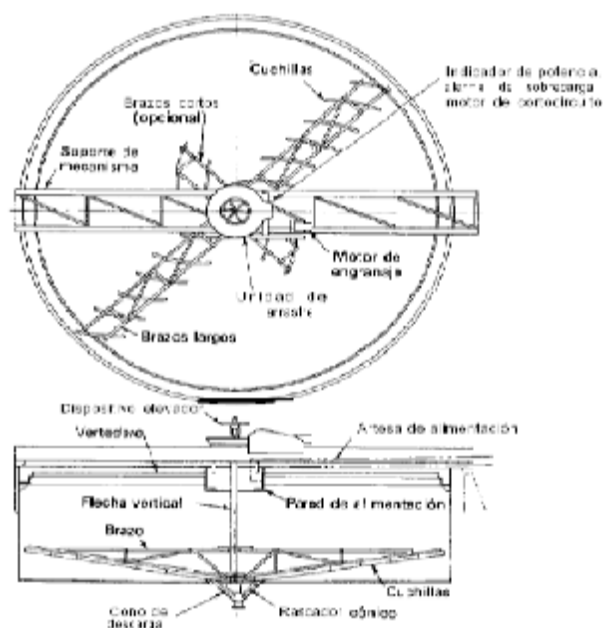
ρ = densidad del fluido

Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual

Tipo	Descripción	Aplicación/Situaciones
Partículas discretas Tipo 1	Referida a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas adyacentes.	Eliminación de las arenas del agua residual.
Floculenta Tipo 2	Suspensión bastante diluida de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.	Eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión del agua residual bruta en los tanques de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación
Retardada o zonal Tipo 3	Suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas adyacentes. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. Se desarrolla una interface sólido-líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.	Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico
Compresión Tipo 4	Para partículas que están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación sólo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.	Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamiento de fangos.

Sedimentación Acelerada

Para la eliminación de arenas del agua residual se han desarrollado numerosos aparatos que aprovechan tanto la acción de las fuerzas gravitacionales, como la acción de la fuerza centrífuga y las velocidades inducidas. Los principios en los que se basa uno de estos aparatos, conocido como Teacup separator. A primera vista, el separador tiene forma de cilindro achatado. El agua residual se introduce tangencialmente cerca del fondo del cilindro, y se extrae por la parte superior del mismo, también tangencialmente. La arena se extrae por una abertura dispuesta en el fondo del elemento.



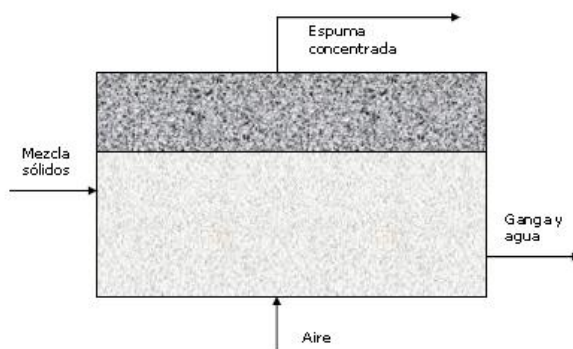
4.4.4 Flotación

Se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua.

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos.

La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta.

La aplicación práctica de la flotación en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se limita, en la actualidad, al uso del aire como agente responsable del fenómeno. Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos:



1. Inyección de aire en el líquido sometido a presión y posterior liberación de la presión a que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto).
2. Aireación a presión atmosférica (flotación por aireación).
3. Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación del vacío al líquido (flotación por vacío).

En todos estos sistemas, es posible mejorar el grado de eliminación y rendimiento mediante la introducción de aditivos químicos.

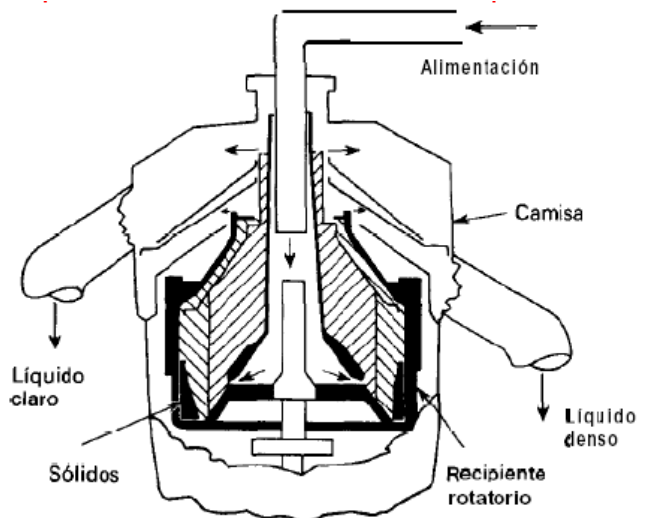
4.4.5 Centrifugación

Proceso de separación de partículas de distinto tamaño en un medio acuoso, éstas sedimentan hacia el fondo a una velocidad que depende de su peso. Este efecto podría utilizarse para separar componentes de distinto peso si no fuera porque las velocidades de sedimentación son pequeñísimas, por lo que el sistema no es útil.

Lo que se hace es aumentar dichas velocidades de sedimentación haciendo girar muy rápidamente la mezcla. En este caso, la fuerza centrípeta hace el papel de la gravedad (peso) y puede ser mucho mayor que éste haciendo girar muy rápido la mezcla: este es el principio de la centrifugación y de la ultracentrifugación.

Se coloca la mezcla en un aparato que la haga girar a velocidad angular constante muy elevada. Una vez está girando, la mezcla experimenta una aceleración centrípeta que puede llegar a ser, en ultracentrifugadoras de laboratorio, unas 500000 veces la aceleración de la gravedad.

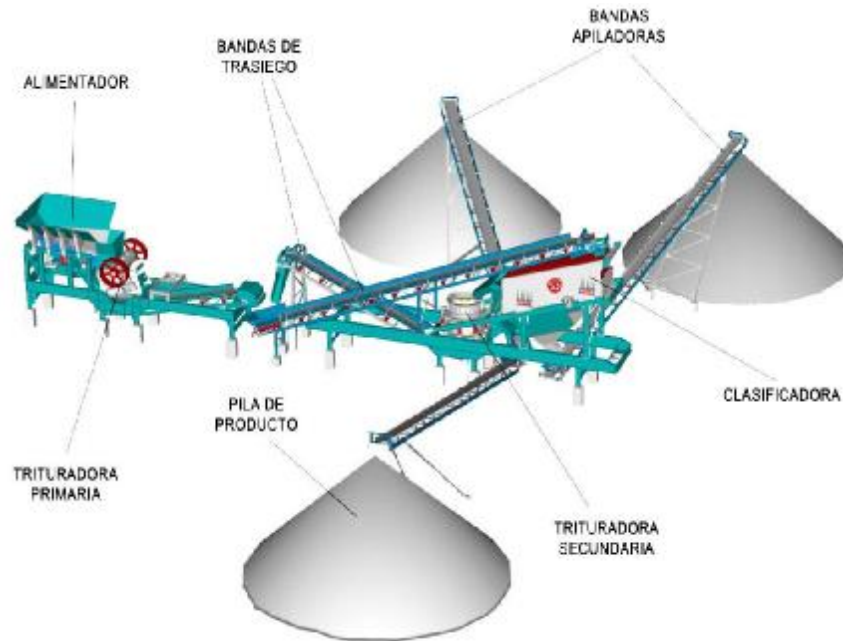
Esta fuerza empuja a sedimentar, a distinta velocidad, a las partículas de distinta masa de la mezcla, creándose distintos estratos con las partículas de cada clase. Este método es muy utilizado en biología y medicina.



4.5 Operaciones físicas complementarias

4.5.1 Trituración

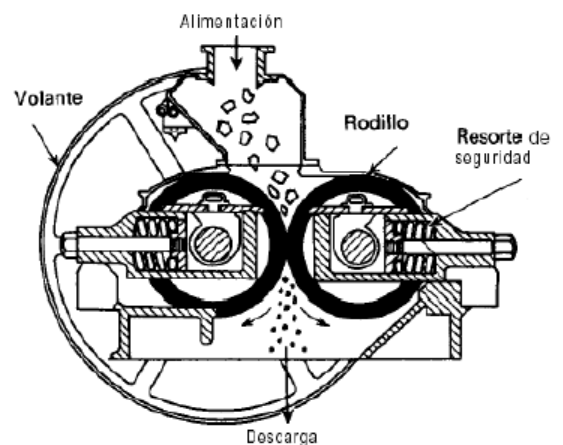
Los conjuntos de trituración son plantas procesadoras de minerales que reciben el producto de la explotación minera, rocas de cualquier mineral, y lo reducen hasta tamaños en los cuales, una vez clasificado, el mineral se puede someter a un siguiente proceso o se puede emplear en la aplicación seleccionada.



El esquema de un conjunto de trituración contempla 4 tipos de máquina básicas, los alimentadores, las bandas, las clasificadoras y las trituradoras, cada uno de estas tiene variantes que se han diseñado para satisfacer condiciones específicas.

El **alimentador** es la máquina que regula el flujo de ingreso de las piedras a la planta de trituración, consta de una tolva de recepción y de una mesa que por vibración o por rotación descarga su contenido.

Las **trituradoras** tienen una boca de ingreso, una cámara de trituración y una boca de descarga y se eligen de acuerdo al rol que van a desempeñar, (trituración primaria, secundaria, terciaria, etc.), usualmente se determina por el tamaño de ingreso y salida, las características del material que se va a triturar, dureza y abrasividad, (mineral de hierro, piedra caliza, canto rodado, mineral de cobre, etc.), y el tamaño y las características del producto que se busca obtener, (grava, arena triturada, material para molienda, etc.).



Las trituradoras generan la **clasificación** de materiales según tamaños, bien sea para que estos pasen a su siguiente etapa de trituración o para seleccionar productos según su tamaño.

Existen zarandas o cribas clasificadoras, tornillos clasificadores, trommels, escalpers, grizzlies y ciclones. Entre las cribas existen las cribas inclinadas, las cribas horizontales y las cribas de alta vibración.

Las **bandas** principalmente transportan el material de un punto a otro en el proceso, se deben elegir según el diseño del montaje de la planta y el flujo o cantidad de material que se debe movilizar, muchas veces en función del área o el sitio en el que se va a realizar cada proceso.

Las **bandas** se usan normalmente para llevar el material de un punto a otro que se encuentra distante y a una altura mayor, pueden ser bandas de trasiego o transportadoras, bandas apiladoras, que llevan el material hasta las pilas y bandas lanzadoras que, como su nombre lo indica, son bandas cortas que giran a gran velocidad y lanzan el material a distancia apilándolo lejos de las torres de trituración.

Los elevadores pueden ser de paletas, de cangilones o de cadena y su función es llevar el material desde un punto abajo en el proceso hasta otro a mayor altura pero a corta distancia, usualmente se usan dentro de torres de trituración.

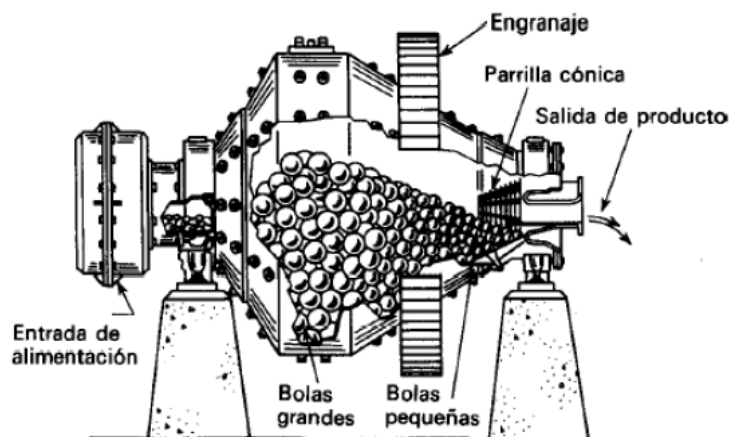
4.5.2 Molienda

Las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión ya sea en seco o como una suspensión en agua pulpa.

La molienda se realiza en molinos que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen una carga de cuerpos sueltos de molienda conocidos como "medios de molienda", los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminución de las partículas.

En el proceso de molienda partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 - 300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

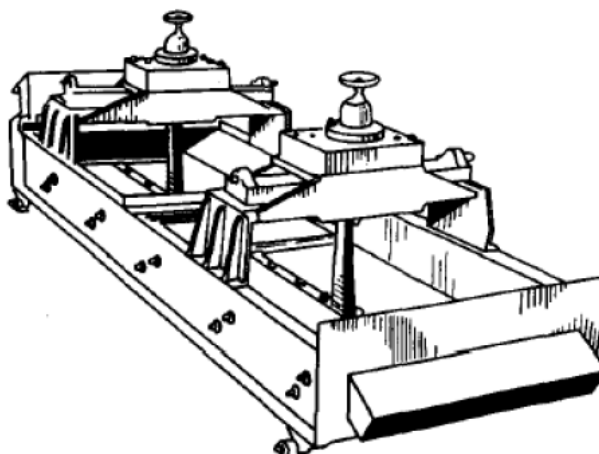


4.5.3 Tamizado

El cribado es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual es generalmente una malla o una placa perforada, esto provoca que las partículas más pequeñas y que el tamaño de las aberturas (del medio de cribado) pasen a través de ellas como finos y que las partículas más grandes sean acarreadas como residuos.

El Cribado o tamizado también se define como una operación básica galénica, que tiene por objeto separar las distintas fracciones de una mezcla pulverulenta o granulado en función de su tamaño.

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos (ej. arenas sílicas). Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas (cemento, caliza, arcilla, etc.).



El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz. De un tamiz o malla se obtienen dos fracciones, los gruesos y los finos.

4.5.4 Mezclado

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar:

1. Mezcla completa de una sustancia con otra
2. Mezcla de suspensiones líquidas
3. Mezcla de líquidos miscibles
4. Floculación
5. Transferencia de calor

La mayoría de las operaciones de mezclado relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse en continuas y rápidas continuas (30 segundos o menos). Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que debe mezclarse una sustancia con otra, mientras que las primeras tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor o del depósito. En los siguientes apartados se analiza cada uno de estos tipos de mezclado.

En el proceso de mezcla rápida continua, el principal objetivo consiste en mezclar completamente una sustancia con otra. La mezcla rápida puede durar desde una fracción de segundo hasta alrededor de 30 segundos. La mezcla rápida de productos químicos se puede llevar a cabo mediante diversos sistemas, entre los que destacan:

1. Resaltos hidráulicos en canales
2. Dispositivos Venturi
3. Conducciones
4. Por bombeo
5. Mediante mezcladores estáticos
6. Mediante mezcladores mecánicos

En los cuatro primeros, el mezclado se consigue como consecuencia de las turbulencias que se crean en el régimen de flujo. En los mezcladores estáticos, las turbulencias se producen como consecuencia de la disipación de energía, mientras que en los mezcladores mecánicos las turbulencias se consiguen mediante la aportación de energía con impulsores giratorios como las paletas, hélices y turbinas.

En el proceso de mezcla continua, el principal objetivo consiste en mantener en un estado de mezcla completa el contenido del reactor o del tanque de retención. El mezclado continuo puede llevarse a cabo mediante diversos sistemas, entre los cuales se encuentran:

1. Los mezcladores mecánicos
2. Mecanismos neumáticos
3. Mezcladores estáticos
4. Por bombeo.

El mezclado mecánico se lleva a cabo mediante los mismos procedimientos y medios que el mezclado mecánico rápido continuo. El mezclado neumático comporta la inyección de gases, que constituye un factor importante en el diseño de los canales de aireación del tratamiento biológico del agua residual. Un canal con pantallas deflectoras es un tipo de mezclador estático que se emplea en el proceso de floculación.

